Pêches et Océans | Fisheries and Oceans

RAPPORT DE PROJET

Direction des services économiques et de développement
Région du Québec

Canada

MINISTÈRE DES PÊCHES ET DES OCÉANS
Région du Québec
Division du développement

RAPPORT 23

ÉVALUATION DE LA CONCENTRATION EN SEL DE LA SAUMURE LORS DE LA PHASE DE SAUMURAGE DU PROCÉDÉ DE TRANSFORMATION DU "GASPE CURED"

Ce rapport a été produit par une firme de consultants et financé en tout ou en partie par la Direction des opérations, région du Québec. Les vues et conclusions exprimées dans ce document sont celles du contractant et ne représentent pas nécessairement celles du Ministère.

RESPONSABLE DU PROJET: Clément Villeneuve TÉL.: (418) 648-4527

CONTRACTANT (adresse): C.R.E.N. (Pomerleau et Picard)
Cité universitaire
Ste-Foy (Québec)
G1K 7P4

Ce rapport ne peut être cité sans l'approbation du directeur de la Direction.

1 9 8 7

(c) Ministre des Approvisionnements et Services Canada - 1986
Numéro de catalogue FS 67-2/1-23 F
ISBN 0-662-93976-x

Publié par:

Ministère des Pêches et des Océans
Division du développement
Gare maritime Champlain
901, Cap-Diamant
C.P. 15500
Québec (Québec)
G1K 7Y7

REMERCIEMENTS

Nous remercions monsieur Léo Nicolas, de l'usine POISSON SALÉ GASPÉSIEN de Grande-Rivière, d'avoir bien voulu collaborer à la réalisation de ce projet.

TABLE DES MATIÈRES

Page

LISTE DES FIGURES 3

RÉSUMÉ 4

1. INTRODUCTION 5

2. PROTOCOLE EXPÉRIMENTAL 15

3. RÉSULTATS ET DISCUSSION 18

4. CONCLUSION 32

BIBLIOGRAPHIE 33

LISTE DES FIGURES

Figure		Page
1	Points de prélèvements des échantillons lors de l'analyse des teneurs en sel dans le bac de saumurage	16
2	Évolution de la teneur en sel, en fonction du temps, à divers niveaux dans le bac, lors de la phase de saumurage	19
3	Évolution du pH de la saumure en fonction du temps à différents niveaux dans le bac lors de la phase de saumurage	24
4	Évolution du pH en fonction du temps pour différents traitements de saumurage	25
5	Évolution de la teneur en sel de la saumure en fonction du temps pour différents traitements de saumurage	28

RÉSUMÉ

La qualité d'un aliment dépend de plusieurs facteurs. L'homogénéité d'un produit de qualité offert sur les marchés stimule et stabilise généralement sa demande. La morue légèrement salée de type "Gaspé Cured", quoique très recherchée, pourrait bénéficier d'une telle plus value.

L'étape de saumurage du poisson a un effet direct sur les caractéristiques finales du produit. Des recherches effectuées sur le procédé traditionnel de transformation ont démontré que cette méthode entraîne une hétérogénéité certaine de la saumure à l'intérieur de bacs de salage; la concentration de sel varie selon les niveaux et diffère même selon les points d'échantillonnage d'un même niveau. La technique habituelle, qui consiste à déposer plus de sel sec sur le poisson à mesure que le bac se remplit, demeure controversée. En effet, la concentration de la saumure à mi-hauteur du bac est plus faible que celle aux niveaux supérieur et inférieur; un salage accru au centre (mi-hauteur) de la morue pourrait toutefois pallier ce problème. Il serait judicieux de promouvoir des recherches axées sur le mécanisation et l'uniformisation du salage du poisson afin d'homogénéiser les produits salés.

1. INTRODUCTION

La phase de saumurage, lors de la fabrication de la morue légèrement salée de type Gaspé Cure est l'étape critique du procédé d'où origine le problème d'hétérogénéité du produit fini (Pomerleau et Picard, 1985).

Traditionnellement, le saleur a recours à une méthode de salage à sec, et utilise une concentration de 8 à 10% de sel (NaCl). Le salage à sec permet une pénétration plus rapide du sel et inhibe la décomposition plus rapidement que le salage en saumure (Tressler, 1923). Le salage en saumure présente également l'inconvénient d'un sursalage des parties minces du poisson. Ce phénomène se manifeste par une mauvaise apparence du produit fini après séchage (Van Klaveren et Legendre, 1965).

La myosine est la fraction protéique la plus labile du muscle du poisson et représente 75% du contenu protéique total. Lorsque le sel pénètre dans le tissu, il se dissout dans l'eau associée à la protéine. A des concentrations en sel de 2 à 5%, la myosine gonfle fortement et l'eau dans le tissu devient plus fermement liée aux micelles de myosine. Le pouvoir de solubilisation est maintenu jusqu'à une concentration de 10% où la protéine est soudainement dénaturée. Il y a alors perte de la structure de gel et relâchement d'une forte portion de la solution initialement retenue par le gel de myosine (Duerr et Dyer, 1952). L'eau en excès qui n'est pas nécessaire à la dissolution du sel diffusera de la même façon que s'il n'y avait pas de sel. Chaque mole de NaCl nécessite 9 moles d'eau (Kent, 1985; Jason, 1979). Ce regroupement a également été noté par Peters (1971) comme responsable des différences existantes entre les isothermes d'adsorption et de désorption (pénétration et sortie d'eau) pour la morue salée. Cette eau devient libre et diffuse rapidement à l'extérieur du tissu dans la saumure extérieure plus concentrée. Le sel continue à pénétrer et son taux de diffusion est accéléré par le bris de la structure du gel et l'ouverture du complexe micellaire de la myosine qui font suite à la

dénaturation protéique (Duerr et Dyer, 1952). Cette étape se traduit par un gain en sel et une perte en eau.

Cette concentration critique (10%) est indépendante de la température et de la concentration de la saumure. Ces facteurs affectent seulement la vitesse de ces phénomènes de dénaturation et de diffusion (Duerr et Dyer, 1942). Selon Dyer (1942), la pénétration du sel n'est pas influencée par la présence de la peau. La structure de celle-ci est relativement poreuse et n'offre pas plus de résistance au passage du sel et de l'eau que le tissu lui-même. La vitesse de pénétration du sel est plus élevée dans le poisson en mauvais état que dans le poisson frais mais ce dernier permet un produit final de meilleure qualité.

Une augmentation de la température entraine une augmentation du taux de pénétration du sel et la différence est évidente entre les jours 1 et 2. Cet écart est toutefois moins important après 5 et 6 jours (trop lent). Si la température est trop élevée, il y a alors danger de contamination car la prolifération bactérienne est plus rapide que le taux de pénétration du sel (Dyer, 1942).

Les travaux de Reay (1936) effectués sur le salage du hareng ont démontré que lors d'un salage à sec, l'équilibre est atteint après 6 jours. La lenteur est expliquée par la faible quantité d'eau impliquée dans le transport du sel et l'influence de la teneur en gras.

L'état de l'eau et sa distribution dans un système biologique sont de première importance et tout changement implique un changement vital dans le produit. Lors de l'expulsion de l'eau, la concentration des substances dissoutes (sel) augmente, menant à une distribution non uniforme de l'eau présente. Les solutions concentrées en électrolytes provoquent la dénaturation des protéines et par conséquent provoquent des changements importants des propriétés de structures, de la valeur nutritive et du goût du muscle, et ces changements peuvent devenir irréversibles (Kuprianoff, 1958). Ces changements peuvent être d'ordre:

a) biochimique: réfère à l'activité d'un système enzymatique attaquée par la dénaturation de leurs substances colloïdales (perte ou retrait de l'eau)

b) biologique: problème de viabilité des organismes

c) technologique: effet complexe d'un procédé comme le séchage ou la congélation sur les propriétés du produit.

Les produits déshydratés ne recouvrent pas leurs propriétés originales lors de la réhydratation. Ce phénomène peut être expliqué par les changements au niveau des microstructures histologiques et moléculaires de la substance fibreuse, lesquels contribuent aux propriétés de reconstitution et de texture (Connell, 1957).

A cause du problème d'hétérogénéité du salage qui ne peut être amélioré en prolongeant le temps de saumurage (Crean, 1961), différents auteurs ont proposé différentes techniques de salage pour en rehausser l'efficacité (Mendelsohn, 1974):

- Poisson salé bouilli

Populaire en Indonésie, aux Philippines et en Thaïlande, il est fabriqué en plaçant des filets de poisson éviscéré en alternance avec du sel dans un cuiseur approprié. Le cuiseur est couvert et chauffé. Pour obtenir un traitement rapide (Iljas et Ronsivalli, 1969), le sel et les filets sont cuits à la vapeur dans des contenants en plastique. Après 2 heures de cuisson à la vapeur, l'eau est éliminée et du sel est rajouté. Les contenants sont à nouveau chauffés à la vapeur pendant deux heures. L'eau formée est éliminée et les contenants sont scellés puis entreposés à la température de la pièce. La quantité totale de sel utilisé lors du procédé varie selon le temps

de conservation désiré (vie de tablette). Le ratio de poisson et de sel varie de 20:1 à 3.1.

Avantages:

Les produits obtenus sont préparés à l'intérieur d'une journée et leur concentration en sel est d'environ 10%, ce qui inhibe la croissance des organismes pathogènes. La majeure partie du procédé peut être automatisée et les teneurs en eau et en sel du produit fini peuvent être contrôlées.

Désavantages:

Cette méthode ne permet pas de produire de grosses quantités de produit fini par jour de production. Le procédé est limité aux espèces qui ne se désagrègent pas lors d'une cuisson prolongée. La manipulation des cuiseurs lors de la vidange d'eau doit être faite automatiquement, sinon il y a danger de brûlure pour le manipulateur. Le produit ne peut être conservé plus de trois mois à la température de la pièce. La cuisson du produit limite sa popularité à quelques pays.

- Poisson salé ensaché

Cette technique développée récemment (Orr, 1967) consiste à placer du poisson frais, du sel et de l'eau dans des proportions volumétriques 16:6:2 dans des sacs de plastique. Les sacs sont scellés sous vide et empaquetés dans des boîtes de carton appropriées qui indiquent la période d'attente avant consommation. Le délai recommandé est de 20 jours. Le sel pénètre dans le poisson durant la préparation et lors de l'expédition.

Avantages:

Ce procédé simple est adaptable à une grande variété d'espèces. Si le salage est adéquat, le produit peut être entreposé à la température de la pièce. Le produit n'est pas brisé lors de sa transformation.

Désavantages:

La distribution du sel dans le produit est imprévisible et le procédé nécessite parfois 3 semaines pour un salage complet. Si le paquet demeure immobile et que le produit n'est pas suffisamment en contact avec le sel, il y a croissance bactérienne. Le contenu en gras, l'épaisseur, la grosseur et l'orientation du filet influencent la pénétration du sel, donc il est relativement difficile sinon impossible d'obtenir l'uniformité.

- Salage par déshydratation-injection

Les filets de poisson sont salés par une technique de séchage par congélation qui implique l'enlèvement de l'eau du tissu et son remplacement par une solution saturée (Carver, 1969). Les filets congelés sont placés dans une chambre à l'intérieur de laquelle un vacuum est créé pour soutirer l'eau du produit. A un temps pré-déterminé, une solution de sel est injectée lentement, sans vacuum, par une petite trappe de la chambre.

Avantages:

Cette méthode très rapide diminue considérablement le temps de salage. Méthode la plus rapide connue de l'auteur pour le salage du poisson entier. La quantité de sel incorporée au filet est contrôlée avec une précision raisonnable dépendamment de la quantité d'eau préalablement retirée du produit congelé.

Désavantages:

L'utilisation de cette méthode est coûteuse. L'eau à la surface du produit est enlevée rapidement mais le retrait de celle en profondeur requiert plus de temps et nécessite un équipement spécialisé pour l'obtention d'un vacuum plus poussé. L'injection d'un sel sec peut être nécessaire pour conserver une haute teneur en sel dans la saumure. Si les filets ne sont pas complètement recouverts par la saumure, le salage est irrégulier. Les bactéries anaréobiques peuvent croître et causer une diminution de la qualité du produit. Une phase finale de séchage est parfois nécessaire.

- Propulsion de sel

Cette méthode implique la projection de cristaux de sel dans les filets de poisson (Lee, 1969). Des grains de 2 mm de diamètre peuvent être projetés sur le filet sans qu'il y ait trace évidente de leur entrée dans le produit. Peu de travaux ont été effectués sur ce procédé.

Avantages:

Le sel sec peut être distribué rapidement dans le filet. La profondeur de pénétration et la distribution des grains peuvent être contrôlées. L'eau présente dans les chairs du poisson sert de véhicule pour la distribution du sel. La vitesse de salage dépend de la distance entre les grains. Celle-ci doit être petite considérant que la vitesse de diffusion est faible dans le muscle du poisson.

Désavantages:

Il y a une décoloration apparente du produit aux sites d'entrée des grains de sel. La distribution des cristaux sur la surface de projection et dans les chairs des cristaux n'est pas uniforme pour les filets de forme et d'épaisseur variables.

- Méthode Del Valle-Nickerson

La technique implique simultanément le broyage de filets frais dont la peau a été enlevée et l'addition de sel dans des proportions variant de 20 à 100% du poids du poisson. Le sel et le poisson broyé sont bien mélangés afin de permettre une distribution uniforme. Le mélange est pressé de façon à extraire l'eau du produit et former des gâteaux. Le pressage est nécessaire pour obtenir un produit consistant qui ne se brisera pas lors des manipulations subséquentes ou lors du désalage du produit avant consommation. Les gâteaux sont finalement séchés.

Avantages:

Cette méthode requiert peu d'équipement. Le produit salé rapidement à un faible coût, est stable à la température de la pièce. Ce procédé permet une utilisation d'une grande variété de poissons ainsi que de leurs résidus industriels.

Désavantages:

Le temps de séchage est trop long pour un procédé industriel efficace permettant une bonne manipulation lors des saisons d'abondance en poissons. Cette méthode entraine également la destruction de l'apparence originale du produit, ce qui est indésirable pour le Gaspé Cure.

- Méthode Anderson-Mendelsohn

Les filets sans peau sont placés dans un malaxeur et broyés dans une solution saturée en sel (1 g de poisson/mL de saumure saturée) auxquels est ajouté du sel cristallisé en excès (4 g de poisson/1 g de sel). Le mélange est maintenu 5 minutes puis l'eau en excès est filtrée à l'aide d'un coton à fromage. Le poisson salé obtenu est séché rapidement sous vacuum dans un séchoir-tambour. Le produit est empaqueté dans des contenants opaques et entreposés à la température de la pièce. La méthode a été adaptée à la production commerciale ce qui l'avantage face à la méthode Del Valle-Nickerson (1968). Les désavantages sont toutefois les mêmes.

- Salage en saumure circulée

La morue tranchée est salée en saumure dans des réservoirs équipés d'une pompe qui assure une circulation adéquate de la saumure dans les bassins. La concentration est de 18 à 20%. La période de salage est d'environ 8 heures (Legendre, 1960).

Avantages:

La mécanisation du procédé est simple. Le temps de saumurage est court et le produit fini demeure intact.

Désavantages:

Lorsque la saumure est trop concentrée, le salage est rapide mais non uniforme de sorte que les parties minces du poisson contiennent trop de sel. Si la saumure est trop faible, la durée de l'opération augmente considérablement et il y a danger de contamination au début du séchage. Cette technique nécessite une phase subséquente, l'empilage, afin d'uniformiser la distribution du sel dans le produit, sinon l'apparence du produit n'est pas satisfaisante.

Un saumurage en deux étapes a été développé et permet d'ob-

tenir une différence minimale de la teneur en sel en regard de la variation de l'épaisseur du poisson (Kosak et Toledo, 1981). La première étape implique un trempage dans une saumure de 10% NaCl durant 15 heures avec un ratio poisson-saumure de 0,5 kg/litre. La deuxième consiste à un autre trempage dans une solution 2% NaCl durant 24 à 48 heures selon l'épaisseur du poisson pour extraire le surplus de sel dans les parties minces sans provoquer le dessalement des parties épaisses. Les analyses ont démontré une uniformité du contenu en sel. L'inconvénient majeur de cette technique réside en l'augmentation du nombre de manipulations que nécessite cette approche. Le problème de variation de la concentration en sel à différents niveaux dans les bacs (Crean, 1961) n'est pas pour autant éliminé.

Le problème d'hétérogénéité de la saumure soulevé par Crean (1961) est caractérisé par une plus forte concentration en sel en surface et au fond du bac. Lors du salage, le saleur dépose, par expérience, moins de sel sur le poisson dans le fond des bacs et augmente la concentration en relation avec la hauteur. Entre le moment où la saumure du fond est la moins concentrée et celui où elle devient supérieure, il existe un point où la teneur en sel du fond est égale à celle du reste du bac. C'est sur ce facteur que repose l'hypothèse de ce travail. A partir de ce point, il faut calculer le temps de saumurage nécessaire au poisson pour atteindre cette homogénéité afin de le retirer de sa saumure avant que sa teneur en sel ne soit influencée par l'écart de gradient qui s'ensuit.

Le temps total de la phase de saumurage est influencé par plusieurs facteurs dont le pH, la concentration en sel (Crean, 1961), la température (Bérubé et Bordeleau, 1981) et l'épaisseur du poisson (Peters, 1971). Son calcul nécessite la connaissance de 2 principaux paramètres: 1) le coefficient de diffusion du sel dans le poisson à partir d'un salage à sec (Sen et Aitken, 1965) et 2) le coefficient de diffusion du sel dans le muscle (Peters, 1971; Sakai et Miki, 1982) à partir d'une saumure. On définit le coefficient de diffusion comme un taux de mouvement qui correspond à la distance parcourue à une vitesse donnée. Ces unités sont exprimées en cm^2/sec.

Le coefficient de diffusion du sel dans le muscle du poisson est inférieur au coefficient de diffusion d'une solution aqueuse de même concentration. Deux explications sont possibles (Del Valle et Nickerson, 1967):

a) forces additionnelles absentes dans la solution aqueuse et présentes dans le muscle qui retarderaient la migration des ions sodium et chlorure. Ces forces sont provoquées par les interactions ions-protéines;

b) le coefficient dans le muscle de la morue est calculé en fonction de la surface totale; dans le muscle la surface réelle de diffusion est inférieure à la surface totale. Le muscle du poisson consisterait en des pores remplies d'une solution saline aqueuse dans une matrice constituée de matériel protéique solide.

Ainsi, la cinétique de pénétration du sel est représentée par un modèle exponentiel où la force motrice est fonction de la différence de concentration entre la saumure ambiante et la saumure dans le muscle (Deng, 1977; Zugarramurdi et Lupin, 1980).

2. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

Essais en usine

Echantillonnage

Trois séries de cinq capillaires de 1,14 mm de diamètre intérieur (1,5 à 3 m de long) ont été introduits lors de la phase de salage à des hauteurs de 15, 30, 45 et 60 cm à l'intérieur de chacun des bacs de saumurage (Figure 1).

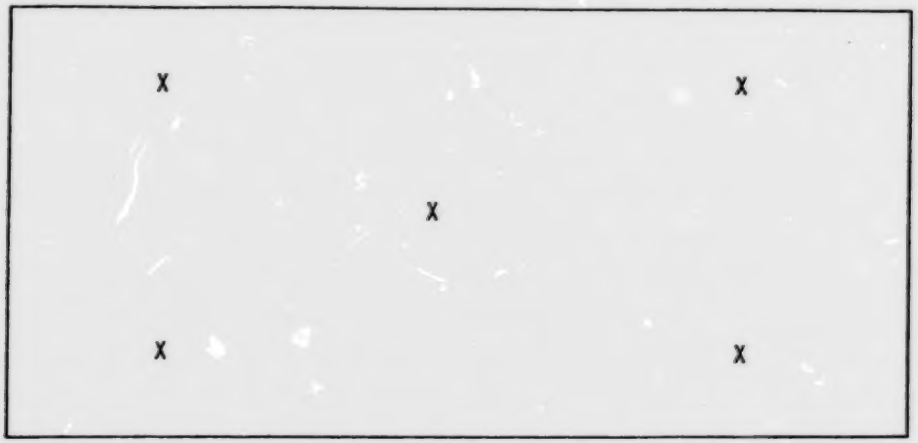
A différents temps lors du saumurage, un échantillon de 5 à 10 mL pour chacun des capillaires a été prélevé à l'aide d'une seringue. Avant la prise d'échantillons, un volume d'environ 7 mL a été siphonné de façon à vidanger chacun des capillaires. Cinq échantillons ont également été recueillis à la surface de la saumure. Cette expérience a été effectuée sur 3 bacs. Dans le premier, du sel No 4 gros (Domtar, Mississauga, Canada) était utilisé et dans les deux autres, du sel No 8 gros (Windsor, Mississauga, Canada) a été introduit.

Analyses

Teneurs en sel

Un volume de 5 mL de saumure de chaque échantillon a été dilué dans un volume de 20 mL d'eau distillée déionisée puis analysé au Salt Analyzer, model 1-1100 (Diamond Crystal Limited, St-Clair, Mich.) préalablement calibré avec une solution standard 2% NaCl. Les résultats ont été réajustés à l'aide d'une courbe standard (élimination des déviations dues à l'appareil).

A) Vue en plan



B) Vue de profil

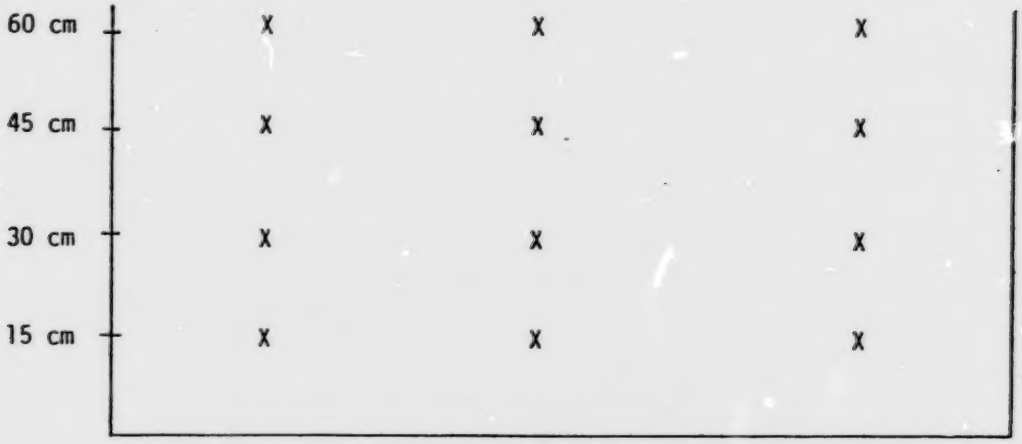


Figure 1. Points de prélèvements des échantillons lors de l'analyse des teneurs en sel dans le bac de saumurage.

pH

Les échantillons d'une même profondeur dans le même bac utilisés pour les analyses de teneur en sel ont été mélangés préalablement à la mesure du pH (électrode combinée, Canlab, H 5503-20).

Protéines

Un volume de 1 mL de chacun des échantillons issus de la mesure du pH a été dilué dans 100 mL d'eau distillée déionisée puis analysé au spectrophotomètre à 280 nm. Le calcul des concentrations en protéines totales a été effectué à partir de l'équation d'une courbe standard de B.S.A. (Bovine Sérum Albumin). Cette évaluation du contenu protéique de la solution est basée sur la présence d'acides aminés aromatiques dans la solution.

3. RESULTATS ET DISCUSSION

L'évaluation de la teneur en sel en fonction du temps pour les différents bacs analysés (figure 2) démontre bien l'hétérogénéité de la concentration en sel de la saumure à l'intérieur des réservoirs. Après 24 heures (bac 1), la teneur en sel est plus élevée d'environ 1% comparativement aux autres strates du réservoir (14 à 15%). La concentration en sel au fond du bac tend à être égale à la strate No 3. Le même phénomène se reproduit après 36, 60 et 72 heures. L'uniformité absolue de la teneur en sel de la saumure à l'intérieur du réservoir n'est pas atteinte mais la meilleure distribution est obtenue après 72 heures. La concentration en sel de la saumure diminue lors de la phase de saumurage; après 24 heures, elle est de 14 à 16% pour atteindre 12 à 13,5% après 72 heures.

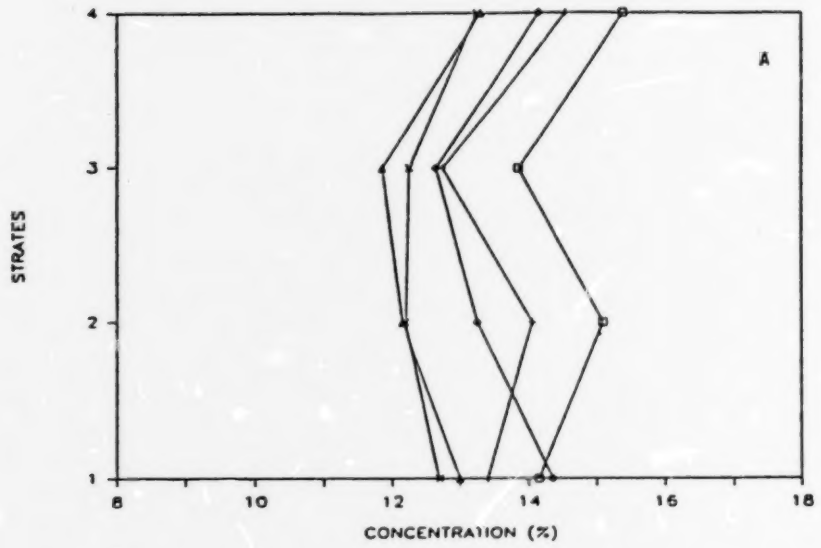
L'hétérogénéité de la concentration en sel n'est pas unique aux différents niveaux de profondeur dans le bac. Cet écart de concentration a également été noté à l'intérieur d'une même strate. D'environ 4 unités de pourcent après 24 heures, il diminue aux environs de 1 à 2 unités après 60 ou 72 heures. La relation entre la concentration en sel et la profondeur pour une région donnée demeure sensiblement la même.

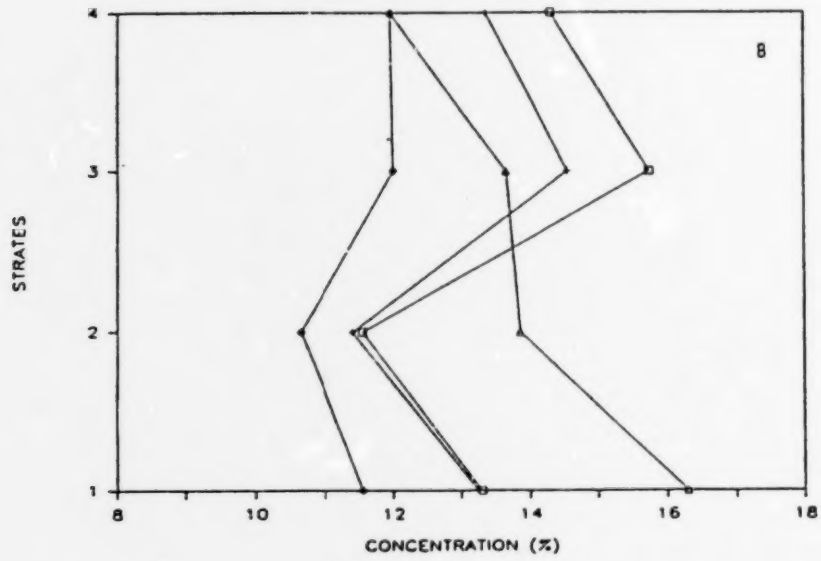
Dans le bac 2 (figure 2), l'ordre de distribution du sel après 24 heures est très différent de celle du bac 1. La teneur en sel à la surface est inférieure à celle du niveau 3 et l'écart entre les concentrations maximales (niveau 3) et minimales (niveau 2) ($\simeq$ 4,5%) à l'intérieur du réservoir est beaucoup plus important que dans le cas du bac 1 ($\approx$1,5%). La distribution du sel tendait toutefois à s'uniformiser après 48 heures mais l'addition d'une quantité importante de sel a contribué à briser cet équilibre, ce qui se traduit par une différence d'environ 4 unités de pourcent entre le dessus et le fond du réservoir après 60 heures. Si l'addition du sel se répercute surtout en profondeur dans le bac, c'est parce que le sel n'a pas été étendu à la surface du bac mais plutôt déposé dans les côtés pour ensuite être poussé à l'aide d'une pelle vers le fond du bac. Une mauvaise réparti-

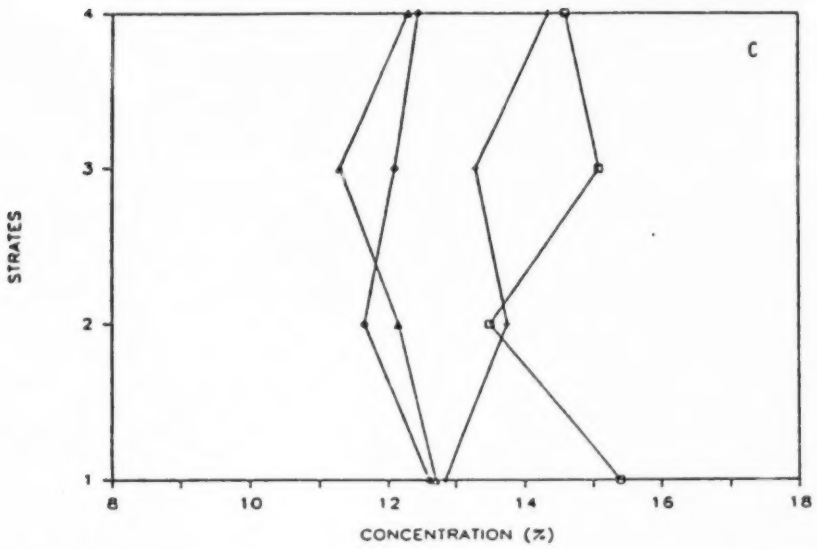
Figure 2. Evolution de la teneur en sel, en fonction du temps, à divers niveaux (fig. 1B) dans le bac, lors de la phase de saumurage.
A: Saumure bac 1 B: Saumure bac 2 C: Saumurage bac 3
D: Poisson (Crean, 1961)

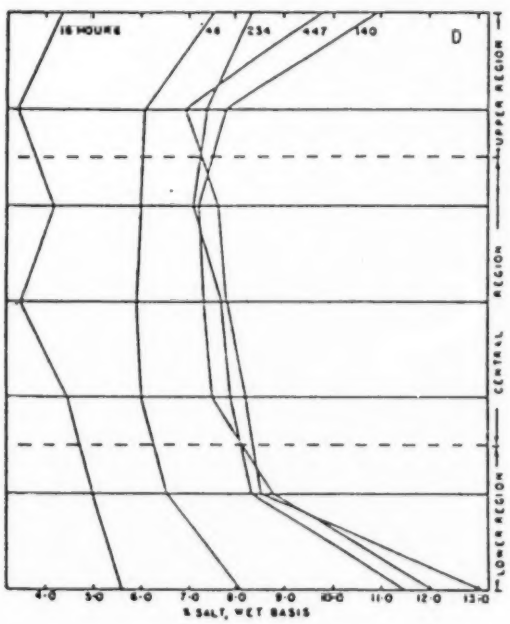
□ 24 heures
+ 36 heures
◇ 48 heures
Δ 60 heures
X 72 heures

1: 15 cm (fond)
2: 30 cm
3: 45 cm
4: 60 cm (surface)


A
STRATES
4
3
2
1
8
10
12
14
16
18
CONCENTRATION (%)


B
STRATES
4
3
2
1
8
10
12
14
16
18
CONCENTRATION (%)


C
STRATES
4
3
2
1
8
10
12
14
16
18
CONCENTRATION (%)


18 HOURS
46
234
447
140
D
UPPER REGION
CENTRAL REGION
LOWER REGION
4·0
5·0
6·0
7·0
8·0
9·0
10·0
11·0
12·0
13·0
% SALT, WET BASIS

tion du sel au niveau d'une même strate, similaire à celle du bac 1, ainsi qu'une diminution de la concentration en sel en fonction du temps ont également été notées.

L'évolution de la saumure du bac 3 (figure 2) varie beaucoup par rapport aux deux premiers réservoirs. La plus forte proportion de sel (après 24 heures) se situe au fond du réservoir et l'écart de concentration entre les strates se rétrécit grandement après 36 heures, ce qui est beaucoup plus rapide que pour le bac 1 (72 heures) et le bac 2 (48 heures). La différence entre les vitesses auxquelles évoluent les saumures peut être attribuable en partie au changement de granulométrie du sel utilisé. Pour le bac 1, le sel No 4 a été utilisé. Les réservoirs 2 et 3 ont été salés avec du No 8 dont la granulométrie est plus petite et le processus de diffusion plus rapide.

L'addition de sel après une cinquantaine d'heures a provoqué un débalancement au niveau de la distribution du sel tout comme lors du saumurage du bac 2. La teneur en sel de la saumure tend à diminuer avec le temps de la même façon que les deux précédents essais. Il est toutefois intéressant de noter que malgré les différents facteurs inhérents aux trois réservoirs, la concentration finale de la saumure au fond du bac se situe aux environs de 12%. L'addition de sel dans les bacs 2 et 3 est venu, par la suite, modifier cet état.

La diminution de la teneur en sel de la saumure en fonction du temps pour les trois réservoirs analysés est explicable par le gain en sel du poisson pour les périodes correspondantes tel qu'indiqué par Crean en 1961 (figure 2). Le profil de distribution du sel dans le poisson après 48 heures est très comparable à celui de la saumure du bac 1 au même temps. Les saumures des bacs 2 et 3 tendent à présenter un même profil que les résultats de Crean mais le rapprochement est moins évident.

Ces résultats démontrent l'influence de la concentration en sel de la saumure sur la teneur en sel correspondante du poisson. Ceci

traduit donc l'effet néfaste d'une saumure hétérogène sur l'homogénéité de la teneur en sel du poisson.

Les résultats démontrent, en accord avec Pomerleau et Picard (1985), le manque d'uniformité de la concentration de la saumure à différents endroits dans le bac. Conformément à ces données, il convient d'indiquer aux producteurs que si la saumure est trop concentrée dans le fond, il en est de même à la surface du bac. Il est donc préférable de saler moins à ces deux endroits, comparativement au centre du réservoir.

En comparant le pH des saumures des bacs 2 et 3 (figure 3) à celui de la saumure obtenue expérimentalement (figure 4), les profils qui correspondent aux manipulations industrielles semblent ceux du salage à 9 et 11%. Malgré que le pH des saumures du bac 3 s'abaisse de 6,55 à 6,35, de 24 à 36 heures, il semble que ce paramètre reste plus stationnaire près de 6,35. La grande variation observée entre le pH des saumures aux diverses strates (bac 2, 55 heures) coincide avec l'ajout d'une grande quantité de sel qui induit d'énormes modifications de l'équilibre du bassin 2 (figure 2B).

Le pH de la saumure, environ 6,2 à 6,4% est supérieur au pH critique (4,5 à 6,0) où les effets de gonflement et de rétention d'eau des protéines sont importants (Tarr, 1942).

Des analyses sommaires de la teneur en protéines de la saumure ont indiqué des concentrations intéressantes qui pourraient être récupérées. Toutefois, considérant les interférences probables de certains produits tel HMF (5-hydroxyméthyl furfural) sur la méthode utilisée, une étude plus appropriée serait nécessaire à une évaluation plus juste de la teneur étant donné une surestimation probable des résultats.

Des essais ont été effectués en laboratoire sur l'évolution de la teneur en sel de la saumure en fonction du temps pour différents

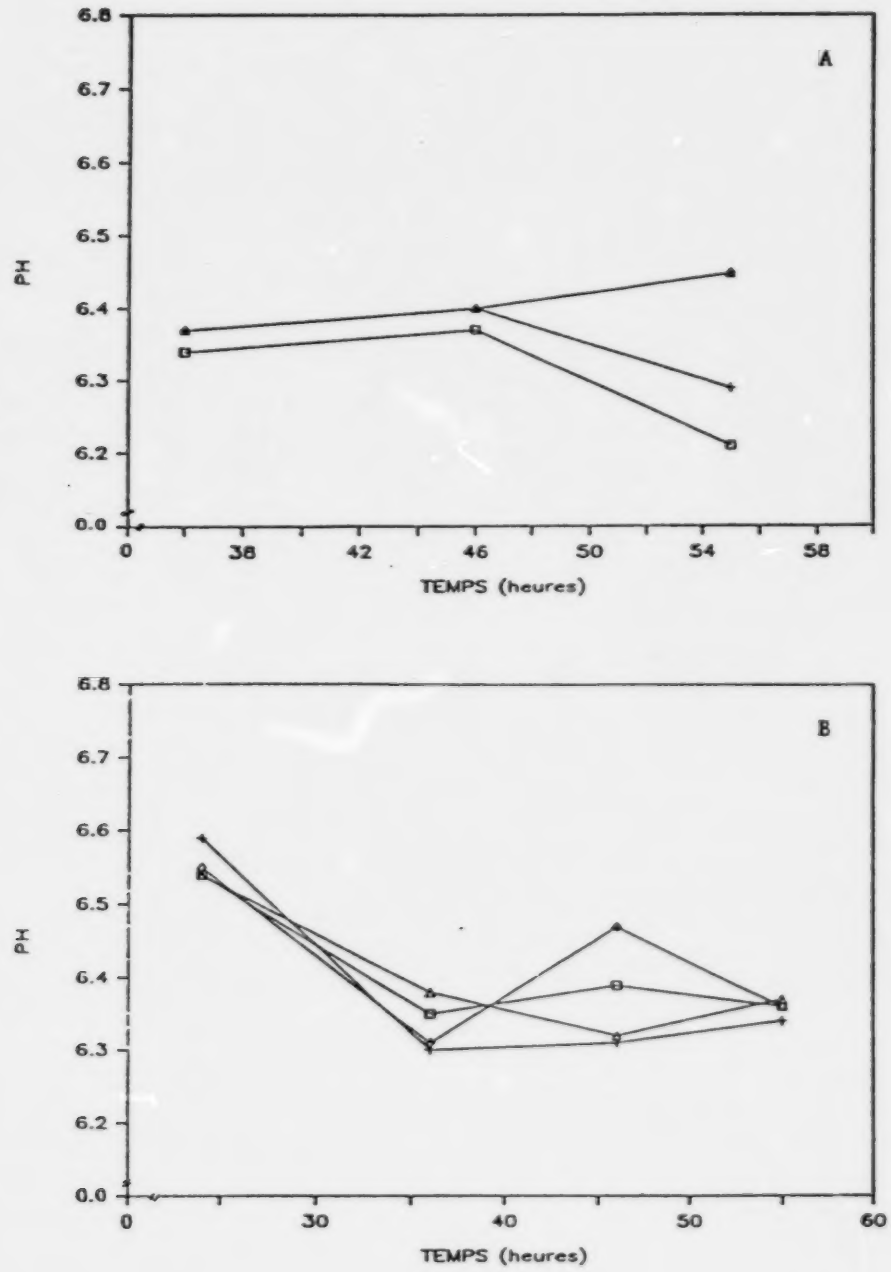


Figure 3. Evolution du pH de la saumure en fonction du temps à différents niveaux dans le bac lors de la phase de saumurage.

A: bac 2 B: bac 3

□: 15 cm

+: 30 cm

◇: 45 cm

△: 60 cm

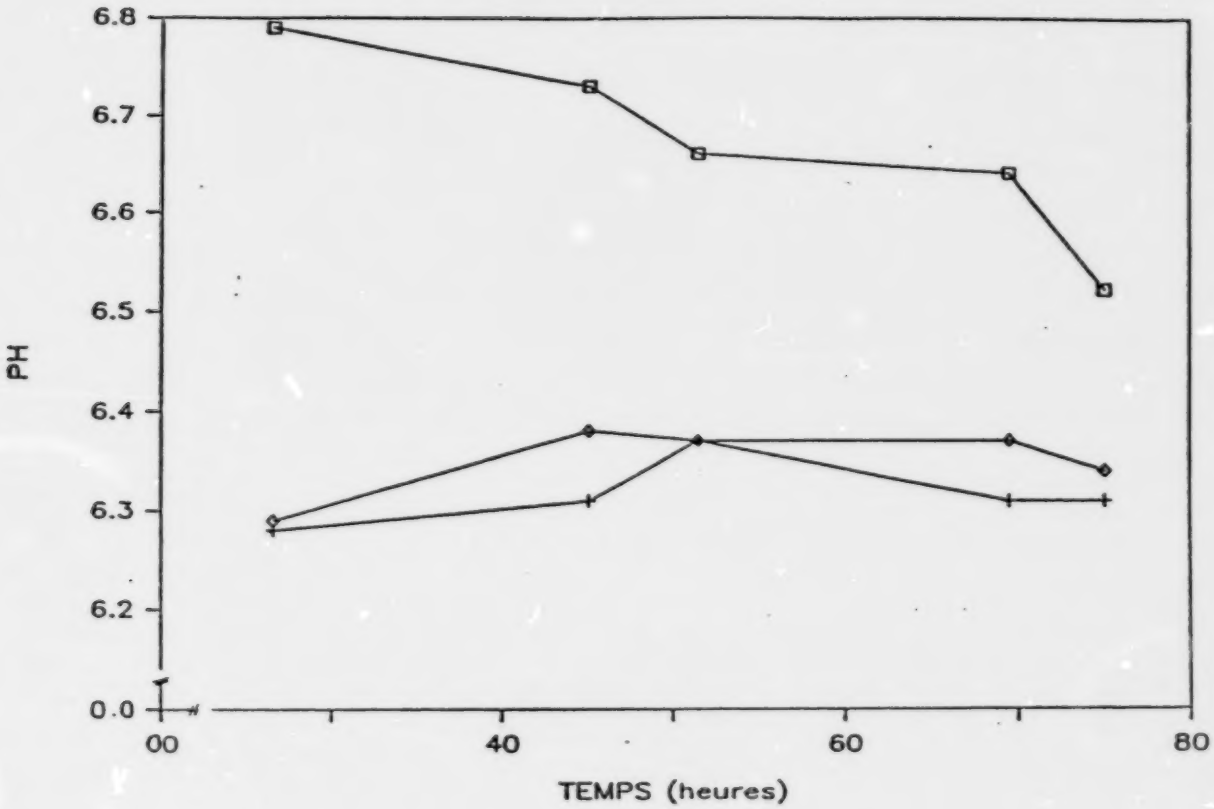


Figure 4. Evolution du pH en fonction du temps pour différents traitements de saumurage.

□: 7%

+: 9%

◇: 11%

traitements de saumurage (figure 5) afin de comparer la concentration en sel obtenu en usine et le taux réel de salage.

La saumure du bac 1 dont la concentration en sel varie de 14 à 16% après 24 heures pour atteindre 12 à 13,5% après 72 heures, correspond à un taux de salage de 11% NaCl pour un salage à sec.

Dans le bac 2, la concentration moyenne de la saumure après 24 heures est d'environ 14% et elle diminue jusqu'à 11,5% après 48 heures ce qui correspond à un profil intermédiaire aux salages à 11 et 9%. Bien que l'effet de la pression des piles de poissons les uns contre les autres est inexistant lors de l'expérience de salage en laboratoire, les résultats suggèrent que le saleur industriel travaille dans des conditions de l'ordre de 10% plutôt que de 8%.

Peters (1971) a développé une équation mathématique reprise par Jason (1979) permettant de calculer un profil de diffusion du sel dans un tissu de poisson immergé dans une solution saturée (équation 2):

$$\frac{C - Co}{C_1 - Co} \simeq 1 - \frac{4}{\pi} \exp\left(\frac{-D\pi^2 t}{L^2}\right) \sin\left(\frac{X}{L}\pi\right) \qquad \text{(équation 1)}$$

où:

C : concentration de NaCl à une distance x d'une surface d'une tranche d'épaisseur L à un temps t exprimée en NaCl par g SFS (salt face solid)

Co : concentration initiale en NaCl dans la chair fraîche exprimée en g NaCl/g SFS

C_1 : concentration en sel à la surface du tissu, en équilibre avec la concentration en sel de la saumure exprimée en g NaCl/g SFS

D : coefficient de diffusion du sel dans le tissu exprimée en cm^2/sec

t : temps de diffusion exprimé en seconde

L : épaisseur du tissu exprimée en cm

x : distance du front de migration à partir de la surface exprimée en cm

C_1 est calculé à partir de l'équation suivante (équation 2):

$$C_1 = AC_B + BC_B^2 \qquad \text{(équation 2)}$$

où A: 6,5

B: - 10,7

C_B: concentration en sel de la saumure exprimée en g NaCl par g d'eau

en isolant t dans l'équation on obtient (équation 3):

$$t = -\frac{L^2}{D\pi^2} \ln \left(1 - \left(\frac{C-C_o}{C_1-C_o} \right) \left(\frac{\pi}{4 \sin \left(\frac{\pi x}{L} \right)} \right) \right) \qquad \text{(équation 3)}$$

De façon à obtenir les résultats les plus représentatifs du phénomène en industrie, on fixe les valeurs de C_1 et C_o pour les morues de catégories petite, moyenne et grosse à partir des données obtenues par Pomerleau et Picard (1985). Les résultats sont les suivants:

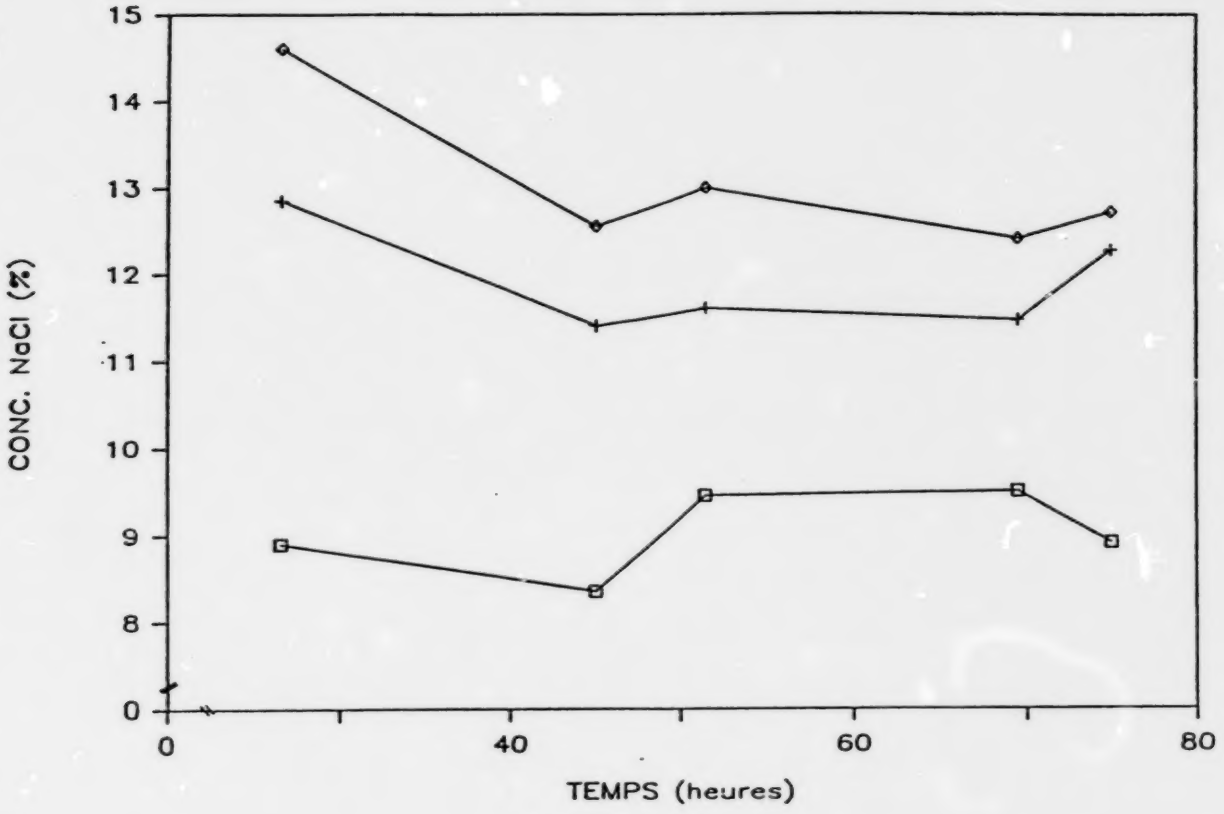


Figure 5. Evolution de la teneur en sel de la saumure en fonction du temps pour différent traitements de saumurage.

□: 7% NaCl

+: 9% NaCl

◇: 11% NaCl

petite: 0,4 jour
moyenne: 0,9 jour
grosse: 1,6 jour

pour des épaisseurs respectives de 2, 3 et 4 centimètres. Ces valeurs supposent que pour toutes les catogories, D, C_1, C et C_o demeurent constant et que le rapport X/L égale 1/2 c'est-à-dire que le front de migration a atteint le centre du poisson.

En collaboration avec M. François Castaigne de l'Université Laval, une équation similaire a été établie (Crank, 1956) (équation 4)

$$t = -\frac{4L^2}{\pi^2 D} \ln\left(\left(\frac{C_1 - C}{C_1 - C_p}\right)\left(\frac{\pi}{4\cos\left(\frac{\pi x}{2L}\right)}\right)\right) \qquad \text{(équation 4)}$$

où C_o : concentration initiale en NaCl dans le poisson exprimée en g NaCl/g SFS

C_1 : concentration en sel dans la saumure exprimée en g NaCl/g SFS

C : concentration en sel du tissu pour un temps t à une distance L de la surface dans un muscle d'épaisseur 2 L exprimée en g NaCl/g SFS

2L : épaisseur du poisson exprimée en cm

x : trajet parcouru par le NaCl pour pénétrer au centre du muscle. Se calcule à partir du centre et s'exprime en cm

D : coefficient de diffusion du sel: salage à sec: $0{,}75 \times 10^{-5}$ cm^2/sec (Sen et Aitken, 1965)

saumure saturée: $1,4 \times 10^{-5}$ cm^2/sec (Peters, 1971)

En utilisant les valeurs moyennes obtenues par Pomerleau et Picard (1985) l'équation nous donne:

petite: 1,5 jour
moyenne: 3,3 jours
grosse: 5,8 jours

Ces résultats représentent le temps nécessaire pour que la concentration en sel au centre du produit soit égale à celle de la saumure. Elle ne représente pas le temps nécessaire à l'obtention d'une saumure à une concentration désirée. Toutefois, on remarque une différence importante entre les résultats tirés de l'équation de Peters et ceux calculés en collaboration avec M. Castaigne.

Les résultats de la deuxième série de calculs indiquent que la morue de catégorie grosse n'atteindra jamais l'équilibre puisque ce dernier est atteint après 5.8 jours et que le procédé industriel s'étend généralement sur une période de 5 jours. La situation pourrait également être la même pour la catégorie moyenne puisque les 3,3 jours indiqués plus haut ne comprennent pas le temps requis pour l'obtention d'une saumure homogène de concentration C_1. Le problème ne semble pas se poser dans le cas de la catégorie petite.

Selon les calculs effectués à partir des équations de Peters (1971), le problème est inexistant, indépendamment de la grosseur du poisson.

A cause des contradictions dans la littérature, il s'ensuit des ambiguités quant aux temps réels puisqu'en substituant le coefficient de diffusion de Peters ($1,4 \times 10^{-5}$ cm^2/sec) à celui de Sen et Aitken ($0,75 \times 10^{-5}$ cm^2/sec) les résultats indiquent:

petite: 0,2 jour
moyenne: 0,5 jour
grosse: 0,85 jour

selon la méthode de Peters. D'après la méthode Castaigne, les temps obtenus sont:

petite: 0,78 jour
moyenne: 1,75 jour
grosse: 3 jours

La difficulté à calculer un gradient de salage en usine ne se limite pas uniquement à la valeur réelle du coefficient de diffusion. Pour résoudre le problème à partir de ces équations, il faut supposer que:

1) Il n'y a pas d'effet d'empilement. On ne considère que les phénomènes d'osmose et de diffusion. Ceci n'est pas vrai pour l'industrie concernée.

2) L'épaisseur du poisson est uniforme de la queue jusqu'à la tête. De par sa nature, le poisson ne l'est pas.

3) Tous les poissons dans le bac ont une forme et une épaisseur identiques. En usine, les poissons sont classés selon la longueur, ce qui ne représente pas nécessairement un indice de l'épaisseur.

4) La saumure est saturée en sel tout au long du traitement de saumurage (Peters, 1971). Pour le procédé du Gaspé Cure, la saumure est saturée ($\simeq$ 26%) au début (salage à sec) mais est dilué par la suite (voir résultats).

5) Le volume du poisson est très petit en comparaison au volume occupé par la saumure. Ceci a pour but de minimiser les effets des pertes d'eau sur la concentration de la solution.

6) La qualité de la matière première est uniforme. La vitesse de pénétration est grandement affectée par les variations de la qualité (Dyer, 1942).

7) Il n'y a pas de variation de la concentration de la saumure pour une même strate dans le bac. L'expérience a d'ailleurs démontré que l'hétérogénéité de la saumure pour un même niveau est un problème majeur lors du saumurage.

Considérant que ces suppositions ne peuvent qu'engendrer une importante source d'erreur par rapport au problème réel qui nous préoccupe, le calcul d'un gradient applicable à l'industrie ne peut être réalisé à partir des données disponibles. Pour y parvenir, il faudrait effectuer une expérience pouvant permettre d'évaluer l'influence de chacune des hypothèses soulevées sur le phénomène de diffusion.

4. CONCLUSION

La littérature ne permet pas de calculer un gradient de salage adaptable à l'industrie parce qu'elle se réfère à des phénomènes généraux qui s'appliquent plus ou moins à la réalité qui nous concerne.

Même si les résultats indiquent qu'il faut diminuer la quantité de sel déposée à la surface et dans le fond du bac, cette solution n'est que temporaire puisqu'elle ne résout pas entièrement le problème d'hétérogénéité de la saumure. Elle ne fait qu'amoindrir les effets. La mécanisation du procédé de saumurage se veut sans aucun doute la meilleure solution à envisager afin d'améliorer l'uniformité de son action au cours de la transformation du Gaspé Cure. Des recherches visant à mécaniser et à uniformiser la transformation du produit devraient être réalisées. Une uniformation et une rationnalisation de ce procédé ne peut être que bénéfique pour cette industrie.

BIBLIOGRAPHIE

ANDERSON, M.L. et J.M. Mendelsohn. 1972. A rapid salt-curing technique. J. F. Sci. 37: 627.

BÉRUBÉ, C. et M.A. Bordeleau. 1981. Transformation de la morue salée-séchée: phase de saumurage. Direction générale des pêches maritimes, MAPAQ.

CARVER, J.H. 1969. Private communication. National Marine Fisheries Service, Atlantic Fishery Products Technology Center, Emerson Ave., Gloucester, MA 01930.

CONNELL, J.J. 1957. Some aspects of the texture of dehydrated fish. J. Sci. Food Agric. 8: 526-537.

CRANK, J. 1956. Mathematics of diffusion at the Clarendon Press. Oxford.

CREAN, B.B. 1961. The light pickle salting of cod. J. Fish. Res. Board Canada 18(5): 833-844.

DEL VALLE, F.R. et J.T.R. Nickerson. 1967. Studies on salting and drying fish. II. Dynamic aspects of the salting of fish. Journal of Food Science. Vol. 32: 218-224.

DEL VALLE, F.R. et J.T.R. Nickerson. 1968. A quick-salting process for fish. I. Evolution of the process. Food Technology, 22(8): 106-116.

DENG, J.C. 1977. Effect of freezing and frozen storage on salt penetration into fish muscle immersed in brine. J. Food Sci. 42(2): 348-351.

DUERR, J.D. et W.J. Dyer. 1952. Proteins in fish muscle. IV. Denaturation by salt. J. Fish. Res. Board Canada 8(5): 325-331.

DYER, W.J. 1942. The salting of cod fish. The influence of skin surface, temperature, conditions of fish, and brine concentration. Fish. Res. Board of Canada Progress Rept. of Atl. Coast Stations No 33: 3-7.

ILJAS, S. et L.J. Ronsivelli. 1969. Improved method for producing pindang. Fishery Ind. Res. U.S. Fish & Wildlife Service, Bureau of Commercial Fisheries, 5(1).

JASON, A.C. 1979. Physical properties and processes. Advances in Fish Sci. and Technology, 158-175.

KENT, M. 1985. Water in fish. Its effects on quality and processing. In: Properties of water in Foods. D. Simatos, J.L. Multon (Ed.). Boston: 573-589.

KOSAK, P.H. et R.T. Toledo. 1981. Brining procedures to produce uniform salt content in fish. Journal of Food Science. Vol. 46: 874-876.

KUPRIANOFF, J. 1958. Bound water in foods. Fundamental aspects of the dehydration of foodstuffs. Pub. by Society for chemical industry: 14-23.

LEE, J.M. 1969. Private communication. National Marine Fisheries Service. Atlantic Fishery Products Technology Center, Emerson Avenue, Gloucester, MA 01930.

LEGENDRE, R. 1960. Considérations technologiques sur la préparation de la morue légèrement salée. Actualités marines 4(2): 9-12.

ORR, A.T. 1967. Method and product for curing and packaging fish. British Patent 1.077.644.

PETERS, G.R. 1971. Diffusion in a medium containing a solvant and solutes, with particular reference to fish muscle. Thesis. Aberdeen University.

POMERLEAU, L. et G. Picard. 1985. Uniformisation du procédé de fabrication du Gaspé Cure. Pêches et Océans.

REAY, G.A. 1936. The salt curing of herring. Journal of the society of Chemical Industry: 309-315.

SAKAI, M. et M. Micki. 1982. Transfer rates of salts in fish flesh. Nippon Shokuhin Kogyo Gakkaishi, Vol. 29, No 8: 490-495.

SEN, D.P. et A. Aitken. 1965. Effect of magnesium in salting of cod. J. Food Science. 30: 286-287.

TARR, H.L.A. 1942. Effect of pH and NaCl on swelling and drip in fish muscle. J. Fish. Res. Bd. Canada. 5(5): 411-426.

TRESSLER, D.K. 1923. The principles of fish salting: the salting of cod and other groundfish. Marine products of commerce. Tressler, D.K. New York: 307-376.

VAN KLAVEREN, F.W. et R. Legendre. 1965. Salted cod. Fish as food, Vol. 3: 153-163.

ZUGARRAMURDI, A. et M. Lupin. 1980. A model to explain behavior on fish. Journal of Food Science. Vol. 45: 1305-1317.